

ARRAY WAVEGUIDE GRATING, ARRAY WAVEGUIDE GRATING MODULE AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

Publication number: JP2002311264

Publication date: 2002-10-23

Inventor: HOSOI TORU

Applicant: NIPPON ELECTRIC CO

Classification:

- international: **G02B6/12; G02B6/122; G02B6/34; H04B10/02; H04J14/02; G02B6/12; G02B6/122; G02B6/34; H04B10/02; H04J14/02; (IPC1-7): G02B6/12; H04B10/02**

- european: **G02B6/122T; G02B6/34B4B**

Application number: JP20010116749 20010416

Priority number(s): JP20010116749 20010416

Also published as:



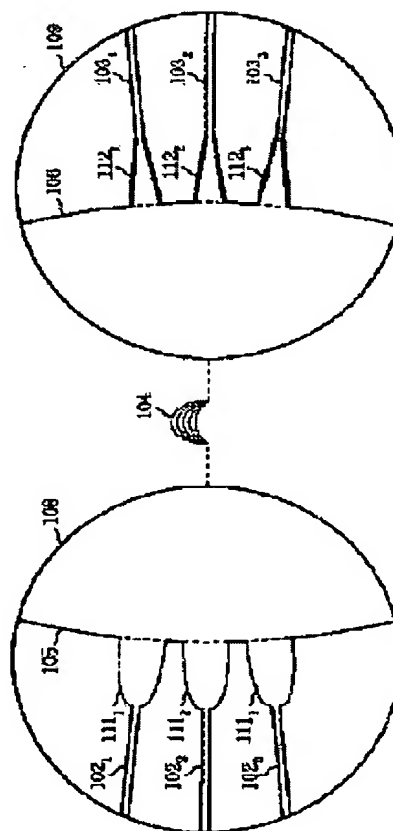
US6836594 (B2)

US2002150338 (A)

Report a data error he

Abstract of JP2002311264

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an array waveguide grating, an array waveguide grating module, an optical communication apparatus and an optical communication system, by which a degree of freedom in optical frequency characteristics can be increased and the transmission light having flat characteristics can be obtained. **SOLUTION:** First channel waveguides 1021 -1023 of the array waveguide grating are connected with a first fan-shaped slab waveguide 105 through first - third exponential optical waveguides 1111 -1113. In a second boundary part 109 located symmetrically with a first boundary part 108 through a channel waveguide array 104, second channel waveguides 1031 -1033 are connected through first - third tapered optical waveguides 1121 -1123 to a second fan-shaped slab waveguide 106, for example. By partially adopting the exponential optical waveguides 111 at least, optical frequency characteristics can be improved rather than the shape of a secondary function and the degree of freedom can be improved rather than a rectangular shape.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-311264

(P2002-311264A)

(43) 公開日 平成14年10月23日 (2002. 10. 23)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

テームト* (参考)

G 0 2 B 6/12

G 0 2 B 6/12

F 2 H 0 4 7

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

U 5 K 0 0 2

審査請求 有 請求項の数40 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2001-116749(P2001-116749)

(22) 出願日 平成13年4月16日 (2001. 4. 16)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 細井 亨

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株

式会社内

(74) 代理人 100083987

弁理士 山内 梅雄

Fターム(参考) 2H047 KA03 KA13 LA18 TA13

5K002 BA03 BA04 BA05 BA31 CA03

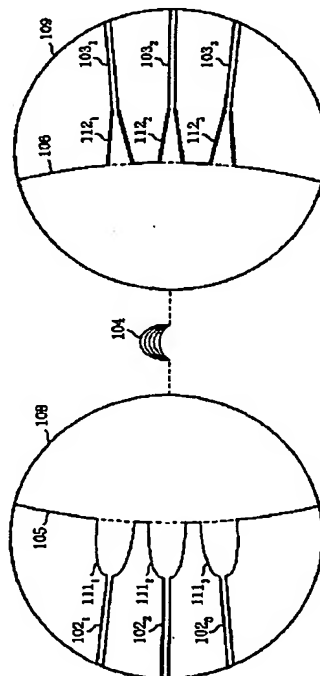
DA02 FA01

(54) 【発明の名称】 アレイ導波路格子、アレイ導波路格子モジュールおよび光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 光周波数特性の自由度を増大させると共に平坦な特性の透過光を得ることのできるアレイ導波路格子、アレイ導波路格子モジュール、光通信装置および光通信システムを得る。

【解決手段】 アレイ導波路格子の第1のチャンネル導波路102₁~102₃は、第1~第3の指数関数形状光導波路111₁~111₃を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。その第1の境界部分108とチャンネル導波路アレイ104を介して対称位置に配置された第2の境界部分109では、第2のチャンネル導波路103₁~103₃がたとえば第1~第3のテーパ形状光導波路112₁~112₃を介して第2の扇形スラブ導波路106に接続されている。指数関数形状光導波路111を少なくとも一部に採用することにより光周波数特性を二次関数の形状よりも向上させることができ、矩形形状よりも自由度を高めることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の基板と、

この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、
隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、
前記第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、
前記基板上に形成され前記第2のチャンネル導波路の一端と前記チャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、
前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がっていることを特徴とするアレイ導波路格子。

【請求項2】 所定の基板と、

この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、
隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、
前記第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、
前記基板上に形成され前記第2のチャンネル導波路の一端と前記チャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、
前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部は前記チャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴とするアレイ導波路格子。

【請求項3】 前記指数関数状に広がった形状 $W(X)$ は、光波の進行方向を X とし、スラブ導波路との接続箇所での終端幅を W_p 、光波の進行方向 X と直交する方向の導波路部分の広がりを W_c とし、指数関数の形状を与えるパラメータ(形状変数)を a としたとき、
$$W(X) = (W_p - W_c) * (1 - \exp(-a * X)) + W_c$$

なる式で表わされることを特徴とする請求項1または請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項4】 前記指数関数の形状を与える形状変数 a は1以下であることを特徴とする請求項3記載のアレイ導波路格子。

【請求項5】 前記第1および第2の形状の導波路部分の双方は、チャンネル導波路からチャンネル導波路アレイの

方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ前記形状変数 a の値がそれぞれ相違していることを特徴とする請求項3記載のアレイ導波路格子。

【請求項6】 前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ前記形状変数 a の値が対応するチャンネル導波路に応じた値に個別に設定されていることを特徴とする請求項3記載のアレイ導波路格子。

【請求項7】 前記第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーパ状となっていることを特徴とする請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項8】 前記第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状は二次関数状となっていることを特徴とする請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項9】 前記第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーパ状となっているものと二次関数状となっているものの双方からなるものとなっていることを特徴とする請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項10】 前記指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーパ状の形状であることを特徴とする請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項11】 前記指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、二次関数状の形状であることを特徴とする請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項12】 前記指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーパ状となっているものと二次関数状となっているものの双方からなることを特徴とする請求項2記載のアレイ導波路格子。

【請求項13】 所定の基板と、

この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、
隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、
前記第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、
前記基板上に形成され前記第2のチャンネル導波路の一端と前記チャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、
前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャンネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい

関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴とするアレイ導波路格子。

【請求項14】 光波の伝播のための第1のチャンネル導波路および第2のチャンネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、前記第1のチャンネル導波路と前記チャンネル導波路アレイの一方端との間に配置された第1のスラブ導波路と、前記第2のチャンネル導波路と前記チャンネル導波路アレイの他方端との間に配置された第2のスラブ導波路とを備え、

前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部、または前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方が、前記第1または第2のチャンネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、前記開口部の根本部分から前記開口端に向けた形状が、前記開口幅の矩形形状よりも内側にあり、前記根本部分と前記開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であることを特徴とするアレイ導波路格子。

【請求項15】 前記二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域にはさまれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴とする請求項13記載のアレイ導波路格子。

【請求項16】 所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、前記第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャンネル導波路の一端と前記チャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子と、

このアレイ導波路格子の前記第1または第2のチャンネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとを具備することを特徴とするアレイ導波路格子モジュール。

【請求項17】 所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるよ

うに構成されたチャンネル導波路アレイと、前記第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャンネル導波路の一端と前記チャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部は前記チャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子と、

このアレイ導波路格子の前記第1または第2のチャンネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとを具備することを特徴とするアレイ導波路格子モジュール。

【請求項18】 光波の伝播のための第1のチャンネル導波路および第2のチャンネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、前記第1のチャンネル導波路と前記チャンネル導波路アレイの一方端との間に配置された第1のスラブ導波路と、前記第2のチャンネル導波路と前記チャンネル導波路アレイの他方端との間に配置された第2のスラブ導波路とを備え、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部、または前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方が、前記第1または第2のチャンネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、前記開口部の根本部分から前記開口端に向けた形状が、前記開口幅の矩形形状よりも内側にあり、前記根本部分と前記開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であるアレイ導波路格子と、

このアレイ導波路格子の前記第1または第2のチャンネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとを具備することを特徴とするアレイ導波路格子モジュール。

【請求項19】 前記指数関数状に広がった形状 $W(X)$ は、光波の進行方向を X とし、スラブ導波路との接続箇所での終端幅を W_p 、光波の進行方向 X と直交する方向の導波路部分の広がりを W_c とし、指数関数の形状を与えるパラメータを a としたとき、 $W(X) = (W_p - W_c) * (1 - \exp(-a * X)) + W_c$

なる式で表わされることを特徴とする請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項20】 前記指数関数の形状を与える形状変数 a は1以下であることを特徴とする請求項19記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項21】 前記第1および第2の形状の導波路部分の双方は、チャンネル導波路からチャンネル導波路アレイ

の方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ前記形状変数 a の値がそれぞれ相違していることを特徴とする請求項19記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項22】 前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ前記形状変数 a の値が対応するチャネル導波路に応じた値に個別に設定されていることを特徴とする請求項19記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項23】 前記第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーパ状となっていることを特徴とする請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項24】 前記第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状は二次関数状となっていることを特徴とする請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項25】 前記第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーパ状となっているものと指数関数状となっているものの双方からなることを特徴とする請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項26】 前記指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーパ状の形状であることを特徴とする請求項17記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項27】 前記指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、二次関数状の形状であることを特徴とする請求項17記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項28】 前記指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーパ状となっているものと二次関数状となっているものの双方からなることを特徴とする請求項17記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項29】 所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャネル導波路の一端と前記チャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波

路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子と、

このアレイ導波路格子の前記第1または第2のチャネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとを具備することを特徴とするアレイ導波路格子モジュール。

【請求項30】 前記二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域にはさまれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴とする請求項29記載のアレイ導波路格子モジュール。

【請求項31】 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、

この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、

この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、

前記光伝送路を前記ノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、

このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、

前記デマルチプレクサは、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャネル導波路の一端と前記チャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子であることを特徴とする光通信システム。

【請求項32】 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、

この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、

このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、

この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、

前記光伝送路を前記ノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、

このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、

前記デマルチプレクサは、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、前記第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャンネル導波路の一端と前記チャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部は前記チャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子であることを特徴とする光通信システム。

【請求項33】 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、

この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、

このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、

この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、

前記光伝送路を前記ノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、

このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、

前記デマルチプレクサは、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、前記第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャンネル導波路の一端と前記チャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口

部の少なくとも一方は前記チャンネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子であることを特徴とする光通信システム。

【請求項34】 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、

この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、

このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、

この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、

前記光伝送路を前記ノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、

このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、

前記デマルチプレクサは、光波の伝播のための第1のチャンネル導波路および第2のチャンネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、前記第1のチャンネル導波路と前記チャンネル導波路アレイの一方端との間に配置された第1のスラブ導波路と、前記第2のチャンネル導波路と前記チャンネル導波路アレイの他方端との間に配置された第2のスラブ導波路とを備え、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャンネル導波路の開口部、または前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方が、前記第1または第2のチャンネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、前記開口部の根本部分から前記開口端に向けた形状が、前記開口幅の矩形形状よりも内側にあり、前記根本部分と前記開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であるアレイ導波路格子であることを特徴とする光通信システム。

【請求項35】 前記二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域にはさまれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴とする請求項33記載の光通信システム。

【請求項36】 複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を伝送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、

前記第1のアレイ導波路格子は、所定の基板と、この基

板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャネル導波路の一端と前記チャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴とする光通信システム。

【請求項37】 複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を伝送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、

前記第1のアレイ導波路格子は、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記第2のチャネル導波路の一端と前記チャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部は前記チャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴とする光通信システム。

【請求項38】 複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を伝送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、

前記第1のアレイ導波路格子は、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、前記基板上に形成され前記

第2のチャネル導波路の一端と前記チャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャネル導波路の開口部および前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方は前記チャネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴とする光通信システム。

【請求項39】 複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を伝送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、

前記第1のアレイ導波路格子は、光波の伝播のための第1のチャネル導波路および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、前記第1のチャネル導波路と前記チャネル導波路アレイの一方端との間に配置された第1のスラブ導波路と、前記第2のチャネル導波路と前記チャネル導波路アレイの他方端との間に配置された第2のスラブ導波路とを備え、前記第1のスラブ導波路に対する前記第1のチャネル導波路の開口部、または前記第2のスラブ導波路に対する前記第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方が、前記第1または第2のチャネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、前記開口部の根本部分から前記開口端に向けた形状が、前記開口幅の矩形形状よりも内側にあり、前記根本部分と前記開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であることを特徴とする光通信システム。

【請求項40】 前記二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域にはさまれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴とする請求項38記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光通信に用いる光波長の合分波素子としてのアレイ導波路格子およびこれを使用したアレイ導波路格子モジュール、光通信装置および光通信システムに係わり、特に光信号の周波数特性を改善したアレイ導波路格子およびこれを使用したアレイ導波路格子モジュール、光通信装置および光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】インターネットの常時接続や通信するデータの大容量化の進展と共に、大容量情報伝送の要求がますます高まっている。光信号を使用する光通信方式では、波長多重度を向上させることが大容量情報伝送を行う際にきわめて重要となる。この点で、光波長を合波したり分波する合分波素子としてのアレイ導波路格子の役割は重要であり、キーデバイスの1つと考えられている。アレイ導波路格子は、パッシブな構成で光波長の狭い透過幅と高い消光比を有している。また、導波路の数に応じて多数の光信号を合分波することができる等の特徴がある。

【0003】このようなアレイ導波路格子はレーザ光源の信号光が各光導波路の中心光周波数から変動してもその出力レベルもしくは損失レベルがこれに伴って急変しないことが望ましい。また、アレイ導波路格子を多段に接続すると、それぞれのアレイ導波路格子が信号光を共通して透過させる帯域以外ではその信号光の変調成分がカットされる。したがって、光周波数に対してピークレベルが平坦な透過特性を実現することが信号光の伝送効率を高める意味でも重要となる。

【0004】図33は、このようなアレイ導波路格子の一例を示したものである。アレイ導波路格子10を構成する基板11上には1または複数の第1のチャネル導波路（入力用チャネル導波路）12と、複数の第2のチャネル導波路（出力用チャネル導波路）13と、異なった曲率でそれぞれ一定方向に曲がったチャネル導波路アレイ14と、第1のチャネル導波路12とチャネル導波路アレイ14を接続する第1の扇形スラブ導波路15と、チャネル導波路アレイ14と第2のチャネル導波路13を接続する第2の扇形スラブ導波路16が配置されている。第1のチャネル導波路12から入射した波長 λ_1 、 λ_2 、…… λ_n の多重信号光は、第1の扇形スラブ導波路15によってその進路を広げられ、チャネル導波路アレイ14に入射する。

【0005】チャネル導波路アレイ14では、これを構成する各アレイ導波路の間に一定の光路長差が設けられており、光路長が順次長く、あるいは短くなるように設定されている。したがって、それぞれのアレイ導波路を導波する光には一定間隔ずつの位相差が付けられて第2の扇形スラブ導波路16に到達するようになっている。実際には波長分散があるので、波長によってその等位相面が傾く。この結果、波長によって第2の扇形スラブ導波路16と第2のチャネル導波路13の界面上の異なった位置に光が結像（集光）する。波長に対応したそれぞれの位置に第2のチャネル導波路13が配置されているので、第2のチャネル導波路13からは任意の波長成分 λ_1 、 λ_2 、…… λ_n を個別に取り出すことが可能になる。

【0006】図34は、図33に示したアレイ導波路格子の第1のチャネル導波路と第1の扇形スラブ導波路の

第1の境界部分を拡大して示したものである。図33にも示した第1の境界部分18に示される第1のチャネル導波路12₁、12₂、12₃は、第1の扇形スラブ導波路15との間に、幅 W_p で長さ L_2 のそれぞれ矩形をした光導波路21₁、21₂、21₃を配置した構造となっている。

【0007】一方、図35は特開平9-297228号公報に開示されたパラボラ形状あるいは二次関数状の形状をした光導波路を使用した場合を示したものである。第1の境界部分18に示される第1のチャネル導波路12₁、12₂、12₃は、第1の扇形スラブ導波路15との間に、長さ L_2 で扇形スラブ導波路15と接続する部分が幅 W_p となった二次関数状の形状をした光導波路22₁、22₂、22₃をそれぞれ配置した構造となっている。

【0008】挿入損失と透過幅は一般にトレードオフの関係にある。しかしながら、この図35に示した二次関数状の光導波路22₁、22₂、22₃に対して図34に示した矩形形状の光導波路21₁、21₂、21₃を使用した場合には、挿入損失を犠牲にせずに透過幅を改善できる。したがって、図34に示した矩形形状の光導波路21₁、21₂、21₃を使用すると、平坦な透過光周波数特性の実現に大きなメリットを有することになる。

【0009】以上の説明では図33における第1のチャネル導波路12と第1の扇形スラブ導波路15の境界としての第1の境界部分18に配置される光導波路の形状について示した。このような光導波路21、22はスラブ導波路と接続する箇所での入力を高次モード化してガウシアン波形のピーク部分をなるべくフラットにする意図の基で設けられている。

【0010】光導波路21、22についての以上のような工夫を行う代わりに、第2のチャネル導波路13と第2の扇形スラブ導波路16の境界としての第2の境界部分19に同様の形状の光導波路を配置しても同様の効果を得ることができる。ここでは説明を単純にするために第1の境界部分18の光導波路の形状についてのみ考察する。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】図34に示したように矩形形状の光導波路21₁、21₂、21₃を使用した場合には、変更可能な形状のパラメータが矩形部分の幅 W_p と長さ L_2 だけである。このため、幅 W_p と長さ L_2 が設計上で限定された値しかとれないとすると、その範囲でしか特性を変更することができない。すなわち、種々の特性を実現するための微細な調整や細かな設計を行う際の自由度が大変低いといった問題があった。例えば、トレードオフの関係にある透過幅とクロストークについての問題を挙げることができる。これらについて次に詳細に説明する。

【0012】図36は、波長多重された信号光の理想的

な特性を表わしたものであり、縦軸が光信号の透過パワーを、横軸が波長を表わしている。各信号光 31_1 、 31_2 、 31_3 、……は矩形の波形となっており、透過幅は最大となっていて本来の信号光の信号成分に他の信号光の信号成分が混ざり合うこともない。このような理想的な信号光 31_1 、 31_2 、 31_3 、……が多重されている場合には、アレイ導波路格子あるいはアレイ導波路格子モジュールを多段に接続しても信号光のそれぞれの帯域幅が減少することもないし、それぞれの信号光 31_1 、 31_2 、 31_3 、……の中心波長がずれるようなことがあっても、信号レベルが変動することもない。ところが、アレイ導波路格子を透過していく信号光はこのような理想的な矩形の波形となることはない。

【0013】図37は矩形の光導波路をスラブ導波路に接続したアレイ導波路格子についての提案の概要を示したものである。この提案で図33と同一部分には同一の符号を付している。この提案では第1のチャンネル導波路12と第1の扇形スラブ導波路15の間を矩形の光導波路33で接続している。

【0014】図38は、この図37に示したアレイ導波路格子を使用して、多重された信号光がチャンネル導波路から矩形の光導波路を経て拡散した後に波長ごとに分離した信号光として取り出される様子を表わしたものである。信号光32は矩形の光導波路33を通過する際に高次モードの信号光34に変化し、拡散する。そして、チャンネル導波路アレイ14を経て波長ごとに異なった位置に収束し、信号光37が第2のチャンネル導波路13の位置に対応した形で波長ごとに分離されて取り出される。

【0015】図39は、この図38に示した例において取り出される信号光の光周波数特性を示したものである。それぞれの信号光37が高密度に多重されており、隣接する信号光の裾野の部分および更に離れた位置の信号光の裾野の部分が複雑に本来の信号光の波長域まで入り込んできている。

【0016】図40は、隣接する2つのチャンネルの信号光を示したものである。実線で示す信号光 33_1 、 33_2 の場合には、破線で示す信号光 34_1 、 34_2 と比べると、矢印で示した透過幅Tは狭くなっているがクロストークによる雑音成分の影響は少なくなっている。しかしながら、信号光 33_1 、 33_2 の方が信号光 34_1 、 34_2 の波形よりも急峻となっているので、中心波長がずれた場合の損失は大きい。このように信号光の波形の形状で光周波数特性が異なってくる。そこで、通信システムを構築する際には、透過幅を優先するのかクロストークを重視するのかといった要望を基にしてアレイ導波路格子あるいはアレイ導波路格子モジュールの光周波数特性を定める必要が生じる。たとえば基幹系の通信システムの場合には、信号光が多くの中継されて伝送される可能性があるため、信号の劣化を最小限にするためにク

ロストークを重視することが考えられる。末端の通信系では使用する回路装置も基幹系に比べると簡易なものになり各信号チャンネルの中心波長のずれをある程度許容しなければならない環境になるので、透過幅を重視する場合が考えられる。

【0017】このようにアレイ導波路格子の使用される環境に応じてその光周波数特性を相違させようとした場合、図34に示した矩形をした光導波路 21_1 、 21_2 、 21_3 についてその変更の自由度が低いことはすでに述べた通りである。そこで図35に示した2次関数の形状をした光導波路 22_1 、 22_2 、 22_3 がこの点で注目されることになる。

【0018】ところが、波長多重度の向上の要求がますます増大しており、これに応じて各信号光のチャンネル幅を狭めると、隣接する各チャンネルの信号透過幅と信号透過幅との空き幅が相対的に狭くなりチャンネル間の干渉の度合いが強まることになってクロストークも相対的に悪化することになる。そこで、このような状況の下で、各種の通信システムの要求に応じて透過幅やクロストークを満足に設定させるアレイ導波路格子あるいはアレイ導波路格子モジュールの作製が困難になってきている。

【0019】そこで本発明の目的は、光周波数特性の自由度を一層増大することができ、しかもチャンネル導波路とスラブ導波路と接続する光導波路を二次関数の形状とするよりも平坦な特性の透過光を得ることのできるアレイ導波路格子、アレイ導波路格子モジュールおよび光通信システムを提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明では、アレイ導波路格子が、(イ)所定の基板と、(ロ)この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャンネル導波路と、(ハ)隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、(ニ)第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、(ホ)基板上に形成され第2のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、(ヘ)第1のスラブ導波路に対する第1のチャンネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がっていることを特徴としている。

【0021】すなわち請求項1記載の発明のアレイ導波路格子は、チャンネル導波路アレイと第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、第2のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを配置している。ここで第1のチャネ

ル導波路は、入力用チャネル導波路であってもよいし、出力用チャネル導波路であってもよい。同じ場所に存在する複数の導波路の一部が入力用で残りが出力用であってもよい。第1のチャネル導波路が入力用チャネル導波路のみで構成されている場合には、第2のチャネル導波路は出力用チャネル導波路となり、第1のチャネル導波路が出力用チャネル導波路のみで構成されている場合には、第2のチャネル導波路は入力用チャネル導波路となる。

【0022】この請求項1記載の発明では、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がっている。すなわち、第1および第2の形状の導波路部分が共に指数関数状に広がった形状部分となっている場合はもちろんのこと、一方だけが指数関数状に広がった形状部分となってもよい。次に第1または第2の形状の導波路部分は、チャネル導波路のそれぞれのチャネルに対応して複数の導波路部分から構成されている場合があるが、請求項1記載の発明の場合には1つのスラブ導波路に接続されているこれらの導波路部分の一部のみが指数関数状に広がった形状部分を備えていることは含まない。この請求項1記載の発明に属するものを幾つか例示してみる。

【0023】図1は、先の図33に示した第1の境界部分18に対応する第1の境界部分108と、第2の境界部分19に対応する第2の境界部分109の関係を第1の例を示したものである。これらの境界部分108、109を構成する第1の扇形スラブ導波路105と第2の扇形スラブ導波路106はチャネル導波路アレイ104を介して接続されている。この第1の例では第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃のそれぞれと第1の扇形スラブ導波路105の接続部分には指数関数形状となった第1～第3の指数関数形状光導波路111₁～111₃が配置されている。一方、第1～第3の第2のチャネル導波路103₁～103₃のそれぞれと第2の扇形スラブ導波路106の接続部分には第1～第3のテーバ形状光導波路112₁～112₃が配置されている。

【0024】図2は、この請求項1記載の発明に該当する第2の例を示したものである。この例では第1～第3の指数関数形状光導波路111₁～111₃と第1～第3のテーバ形状光導波路112₁～112₃の配置が第1の例と逆になっている。すなわち、第1の境界部分108を構成する第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃のそれぞれと第1の扇形スラブ導波路105の接続部分に第1～第3のテーバ形状光導波路112₁～112₃が配置されている。また、第2の境界部分109を構成する第1～第3の第2のチャネル導波路103₁～103₃のそれぞれと第2の扇形スラブ導波路106の接続部分に第1～第3の指数関数形状光導波路11

1₁～111₃が配置されている。

【0025】図3は、この請求項1記載の発明に該当する第3の例を示したものである。この例で第1の境界部分108の構成は図1に示した第1の例と何ら相違ない。第2の境界部分109には第1の例の第1～第3のテーバ形状光導波路112₁～112₃の代わりに第1～第3の二次関数形状光導波路113₁～113₃が配置されている。この第3の例とは逆に第1の境界部分108に第1～第3の二次関数形状光導波路113₁～113₃を配置し、第2の境界部分109に第1～第3の指数関数形状光導波路111₁～111₃を配置することはもちろん可能である。

【0026】図4は、この請求項1記載の発明に該当する第4の例を示したものである。この例で第1の境界部分108の構成は図1に示した第1の例と何ら相違ない。第2の境界部分109の方は、第2の扇形スラブ導波路106に第1～第3の第2のチャネル導波路103₁～103₃のそれぞれの端部が直接接続されている。これは図1に示した第1～第3のテーバ形状光導波路112₁～112₃がそれぞれ第2のチャネル導波路103₁～103₃に対して傾斜角を“0”にしたものとも考えることができる。この第4の例とは逆に第1の境界部分108で第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃を第1の扇形スラブ導波路105と直接接続し、第2の境界部分109に第1～第3の指数関数形状光導波路111₁～111₃を配置することはもちろん可能である。

【0027】以上と異なり、第1および第2の形状の導波路部分の双方が、チャネル導波路からチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有していてもよい。この例については請求項5の箇所説明する。また、第1～第3の指数関数形状光導波路111₁～111₃等の指数関数の形状をした光導波路と矩形あるいは二次関数の形状をした光導波路との違いについては後に詳細に説明する。

【0028】請求項2記載の発明では、アレイ導波路格子が、(イ)所定の基板と、(ロ)この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、(ハ)隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、

(ニ)第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、(ホ)基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、(ヘ)第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有していることを

特徴としている。

【0029】すなわち請求項2記載の発明のアレイ導波路格子は、チャンネル導波路アレイと第1のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、第2のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを配置している。ここで第1のチャンネル導波路は、入力用チャンネル導波路であってもよいし、出力用チャンネル導波路であってもよい。同じ場所に存在する複数の導波路の一部が入力用で残りが出力用であってもよい。第1のチャンネル導波路が入力用チャンネル導波路のみで構成されている場合には、第2のチャンネル導波路は出力用チャンネル導波路となり、第1のチャンネル導波路が出力用チャンネル導波路のみで構成されている場合には、第2のチャンネル導波路は入力用チャンネル導波路となる。以上の点は請求項1記載の発明と同様である。

【0030】この請求項2記載の発明では、第1のスラブ導波路に対する第1のチャンネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部はチャンネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有している点が請求項1記載の発明と相違している。すなわち、請求項2記載の発明は請求項1記載の発明よりも指数関数状の形状の適用範囲が広い。まず、1つのスラブ導波路に接続される導波路部分が複数存在する場合にその一部の導波路部分のみが指数関数状に広がった形状部分となってもよい。指数関数状に広がった形状部分を全然含まない導波路部分が存在してもよいということになる。次にチャンネル導波路の特定のチャンネルに対応した導波路部分が指数関数状に広がった形状部分を有するとして、その導波路部分がこれ以外の形状部分を備えていることを禁ずるものではない。ある導波路が指数関数状に広がった形状部分のみからなってもよいし、指数関数状に広がった形状部分と他の形状部分が組み合わされていてもよいということである。また、1つの導波路部分が複数の形状の組み合わせからなるとき、これに伴ってこの導波路部分の全長が組み合わされた形状に応じて長くなるものであってもよいし、1つの決められた長さを分割する形で複数の形状部分が存在する形であってもよい。請求項2記載の発明における形状の組み合わせに関する例を幾つか説明する。

【0031】まず図5は説明の前提として請求項1記載の発明と同様の接続形態を示している。第1のチャンネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間には指数関数形状光導波路111のみが接続されている。なお、第2のチャンネル導波路103と第2の扇形スラブ導波路106（図1等参照）の接続についても同様であるので、これについての説明は省略する。以下同様である。

【0032】図6は請求項2記載の発明に該当する第1の例を示したものである。この例では第1のチャンネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間にテーパ形状光導波路112と指数関数形状光導波路111がこの順序に接続されている。

【0033】図7は請求項2記載の発明に該当する第2の例を示したものである。この例では第1のチャンネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間に指数関数形状光導波路111とテーパ形状光導波路112がこの順序に接続されている。

【0034】図8は請求項2記載の発明に該当する第3の例を示したものである。この例では第1のチャンネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間に二次関数形状光導波路113と指数関数形状光導波路111がこの順序に接続されている。ここでは図示しないが、これと逆に第1のチャンネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間に指数関数形状光導波路111と二次関数形状光導波路113がこの順序に接続される場合等の他の形態も当然請求項2記載の発明に含まれる。

【0035】図9～図13は、以上と異なり第1または第2の形状の導波路部分が指数関数形状光導波路の前後にこれ以外の図形を付け加えたような形状となっている場合の例を示している。したがって、これらの例ではその導波路部分の全長が組み合わせの態様に応じて伸長することになる。図5で示した指数関数形状光導波路111の長さを L_1 とし、これが幅 W_p と長さ L_2 で定まる矩形の中に存在するものとして説明を進める。

【0036】図9は、請求項2記載の発明に該当する第4の例として指数関数形状光導波路111の手前に長さ L_1 でテーパ形状光導波路112が存在する場合を示している。この例ではたとえば第1のチャンネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間にテーパ形状光導波路112と指数関数形状光導波路111がこの順に配置されており、これらの全長は L_1 と L_2 を加えた長さとはほぼ等しくなる。厳密にはテーパ形状光導波路112のやや開口した部分と指数関数形状光導波路111の先端が接するので、指数関数形状光導波路111の長さは長さ L_2 よりも若干短くなる。なお、図で符号 W_c は第1のチャンネル導波路102のコア幅を表わしており、 W_p は終端幅を表わしている。

【0037】図10は、請求項2記載の発明に該当する第5の例として指数関数形状光導波路の後に角度が“0”のテーパ形状光導波路を接続した場合を示したものである。この例ではたとえば第1のチャンネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間に111と角度が“0”のテーパ形状光導波路112がこの順に配置されている。この導波路部分の全長は長さ L_2 に長さ L_3 を加えたものとなる。

【0038】図11は、請求項2記載の発明に該当する第6の例として、図10に示した例で角度が“0”以外

のテーパ形状光導波路を接続した例を示したものである。この例の場合もこの導波路部分の全長は長さ L_2 に長さ L_3 を加えたものとなる。

【0039】図12は、請求項2記載の発明に該当する第7の例として、指数関数形状光導波路の前後に他の形状の導波路を接続した場合の一例を示している。この例では図9に示したように第1のチャネル導波路102と指数関数形状光導波路111の間にテーパ形状光導波路112を配置し、指数関数形状光導波路111と第1の扇形スラブ導波路105との間に二次関数形状光導波路113を配置している。このため、この導波路部分の全長は、テーパ形状光導波路112の長さ L_1 と指数関数形状光導波路111の本来の長さ L_2 に二次関数形状光導波路113の長さ L_3 を加えた長さとはほぼ等しくなる。

【0040】図13は、請求項2記載の発明に該当する第8の例として、指数関数形状光導波路以外の形状の導波路部分が連続して配置される場合の一例を示したものである。この例では指数関数形状光導波路111と第1の扇形スラブ導波路105との間に長さ L_3 のテーパ形状光導波路112と長さ L_4 の第2のチャネル導波路103がこの順に配置されている。以上、図9～図13に示した各形態の他に他の多くの組み合わせ形態によって所望の特性の導波路部分を作製することができることは当然である。

【0041】請求項3記載の発明では、請求項1または請求項2記載のアレイ導波路格子で、指数関数状に広がった形状 $W(X)$ は、光波の進行方向を X とし、スラブ導波路との接続箇所での終端幅を W_p 、光波の進行方向 X と直交する方向の導波路部分の広がりを W_c とし、指数関数の形状を与えるパラメータ（形状変数）を a としたとき、

$$W(X) = (W_p - W_c) * (1 - \exp(-a * X)) + W_c$$

なる式で表わされることを特徴としている。

【0042】すなわち請求項3記載の発明では、請求項1または請求項2記載のアレイ導波路格子で適用される指数関数状に広がった形状 $W(X)$ を規定している。後に説明するように形状変数 a の値を選ぶことで光周波数特性を所望のものに定めることができる。

【0043】請求項4記載の発明では、請求項3記載のアレイ導波路格子で、指数関数の形状を与える形状変数 a は1以下であることを特徴としている。

【0044】すなわち請求項4記載の発明では、形状変数 a を“1”以下とすることにより指数関数の形状とした特徴をより鮮明なものにすることができる。これについては後に説明する。形状変数 a を“1”よりも大きな値とした場合にも程度の差はあれ本発明としての利点が生じるものであるので、請求項3記載の発明では“1”を超えるものも含んでいる。

【0045】請求項5記載の発明では、請求項3記載のアレイ導波路格子で、第1および第2の形状の導波路部分の双方は、チャネル導波路からチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ形状変数 a の値がそれぞれ相違していることを特徴としている。

【0046】すなわち請求項5記載の発明では、1つのアレイ導波路格子の第1または第2の形状の導波路部分に対して適用される前記した形状変数 a の値が相違するようなものであってもよいことを示している。

【0047】図14は、請求項5記載の発明に該当するものとして各境界部分で使用される指数関数形状光導波路の形状変数 a が相違する例を示したものである。この図14で図1と同一部分には同一の符号を付しており、これらの説明を適宜省略する。境界部分108では、第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃のそれぞれは、第1～第3の指数関数形状光導波路111A₁～111A₃を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。また、境界部分109では、第1～第3の第2のチャネル導波路103₁～103₃のそれぞれは、第1～第3の指数関数形状光導波路111B₁～111B₃を介して第2の扇形スラブ導波路106と接続されている。ここで、第1～第3の指数関数形状光導波路111A₁～111A₃と第1～第3の指数関数形状光導波路111B₁～111B₃は形状変数 a がそれぞれ異なった値となっている。

【0048】この図に示した例では境界部分108における場合よりも境界部分109における場合の方が形状変数 a の値が大きくなっている。このように形状変数 a を2つの境界部分108、109で相違させることでこれらに共に指数関数形状光導波路を使用することができる。なお、形状変数 a の値がこの例とは逆に境界部分108の方が大きくなるようなものであってもよい。

【0049】請求項6記載の発明では、請求項3記載のアレイ導波路格子で、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ形状変数 a の値が対応するチャネル導波路に応じた値に個別に設定されていることを特徴としている。

【0050】すなわち請求項6記載の発明では、チャネル導波路からチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有する導波路部分が1つの扇形スラブ導波路に複数個接続されているときに、これらの導波路部分の前記した形状変数 a はそれぞれのチャネル導波路に対応させた適切な値に個別に設定される場合があることを示している。

【0051】図15は、請求項6記載の発明に該当するものの例を示したものである。一例としての境界部分1

08で第1の第1のチャネル導波路102₁は、第1の指数関数形状光導波路111B₁を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。また、第2の第1のチャネル導波路102₂は、第2の指数関数形状光導波路111A₂を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。更に、第3の第1のチャネル導波路102₃は、第3の指数関数形状光導波路111B₃を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。ここで、第1の指数関数形状光導波路111B₁は、図14で説明したように第2の指数関数形状光導波路111A₂よりも形状変数aが大きくなっている。第3の第1のチャネル導波路102₃に接続された第3の指数関数形状光導波路111B₃も第2の指数関数形状光導波路111A₂よりも形状変数aが大きくなっている。

【0052】このようにチャネル導波路102あるいは103の性格に応じて形状変数aの値を個々に設定することが可能である。図15では形状変数aを2種類設定したが、最大で指数関数形状光導波路111の数だけ異なった形状変数aが設定されてもよい。

【0053】請求項7記載の発明では、請求項2記載のアレイ導波路格子で、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーバ状となっていることを特徴としている。

【0054】すなわち請求項7記載の発明では、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状の一例としてテーバ状を挙げている。

【0055】図16は、請求項7記載の発明に該当するものの例を示したものである。一例としての境界部分108で第2の第1のチャネル導波路102₂は、第2の指数関数形状光導波路111B₂を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。残りの第1および第3の第1のチャネル導波路102₁、102₃は、第1のテーバ形状光導波路112₁あるいは第3のテーバ形状光導波路112₃を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。

【0056】請求項8記載の発明では、請求項2記載のアレイ導波路格子で、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状は二次関数状となっていることを特徴としている。

【0057】すなわち請求項8記載の発明では、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状の一例として二次関数状を挙げている。

【0058】図17は、請求項8記載の発明に該当するものの例を示したものである。第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃のそれぞれと第1の扇形スラブ導波路105の接続部分には指数関数形状となった

第2の指数関数形状光導波路111₂と、その両隣に第1および第3の二次関数形状光導波路113₁、113₃が配置されている。これらとは逆の配置等の各種変形も可能である。

【0059】請求項9記載の発明では、請求項2記載のアレイ導波路格子で、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーバ状となっているものと二次関数状となっているものの双方からなるとなっていることを特徴としている。

【0060】すなわち請求項9記載の発明では、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状の一例としてテーバ状となっているものと二次関数状となっているものの双方からなる例を挙げている。

【0061】図18は、請求項9記載の発明に該当するものの例を示したものである。第2の第1のチャネル導波路102₂と第1の扇形スラブ導波路105の接続部分には、指数関数形状のみとなった第2の指数関数形状光導波路111₂が配置されている。図でその上側の第1の第1のチャネル導波路102₁と第1の扇形スラブ導波路105の接続部分には、第1のテーバ形状光導波路112₁が配置されている。また、図で一番下の第3の第1のチャネル導波路102₃と第1の扇形スラブ導波路105の接続部分には、第3の二次関数形状光導波路113₃が配置されている。

【0062】この図18では第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃の合計3つのチャネル導波路が存在する場合を示しているが、これ以上の数のチャネル導波路102が存在する場合に指数関数状に広がった形状部分を有していない部分がテーバ形状光導波路112となっている数および二次関数形状光導波路113となっている数は任意である。もちろん、境界部分108に関するものでなく、境界部分109に関するものであってもよい。更に、1つの光導波路がテーバ形状光導波路112と二次関数形状光導波路113を順に配置して構成されたものであってもよい。

【0063】請求項10記載の発明では、請求項2記載のアレイ導波路格子で、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーバ状の形状であることを特徴としている。

【0064】すなわち請求項10記載の発明では、図7で一般化して示したように第1のチャネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間に指数関数形状光導波路111とテーバ形状光導波路112がこの順序に接続されているような導波路の例を示している。指数関数形状光導波路111とテーバ形状光導波路112の数やこれらの配列の順序は自由である。

【0065】図19は、請求項10記載の発明に該当するものの例を示したものである。第2の第1のチャネル

導波路 102₂ と第 1 の扇形スラブ導波路 105 の接続部分には、指数関数形状のみとなった第 2 の指数関数形状光導波路 111₂ が配置されている。図でその上側の第 1 の第 1 のチャンネル導波路 102₁ と第 1 の扇形スラブ導波路 105 の接続部分には、第 1 の指数関数形状光導波路 111₁ と第 1 のテーパ形状光導波路 112₁ がこの順序で配置されている。また、図で一番下の第 3 の第 1 のチャンネル導波路 102₃ と第 1 の扇形スラブ導波路 105 の接続部分には、第 3 の指数関数形状光導波路 111₃ と第 3 のテーパ形状光導波路 112₃ がこの順序で配置されている。これらの配置の順序等には各種のバリエーションがあることは当然である。

【0066】請求項 11 記載の発明では、請求項 2 記載のアレイ導波路格子で、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、二次関数状の形状であることを特徴としている。

【0067】すなわち請求項 11 記載の発明では、図 8 で一般化して示したように第 1 のチャンネル導波路 102 と第 1 の扇形スラブ導波路 105 の間に二次関数形状光導波路 113 と指数関数形状光導波路 111 がこの順序に接続されているような導波路の例を示している。指数関数形状光導波路 111 と二次関数形状光導波路 113 の数やこれらの配列の順序は自由である。

【0068】請求項 12 記載の発明では、請求項 2 記載のアレイ導波路格子で、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーパ状となっているものと二次関数状となっているものの双方からなることを特徴としている。

【0069】すなわち請求項 12 記載の発明では、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む光導波路は、他の形状がテーパ状のみではなく二次関数状も含まれている場合があることを示している。

【0070】図 20 は、請求項 12 記載の発明に該当するものの例を示したものである。第 2 の第 1 のチャンネル導波路 102₂ と第 1 の扇形スラブ導波路 105 の接続部分には、指数関数形状のみとなった第 2 の指数関数形状光導波路 111₂ が配置されている。図でその上側の第 1 の第 1 のチャンネル導波路 102₁ と第 1 の扇形スラブ導波路 105 の接続部分には、第 1 のテーパ形状光導波路 112₁ と第 1 の指数関数形状光導波路 111₁ がこの順序で配置されている。また、図で一番下の第 3 の第 1 のチャンネル導波路 102₃ と第 1 の扇形スラブ導波路 105 の接続部分には、第 3 の二次関数形状光導波路 113₃ と第 3 の指数関数形状光導波路 111₃ がこの順序で配置されている。これらの配置の順序等には各種のバリエーションがあることは当然である。

【0071】請求項 13 記載の発明では、アレイ導波路格子が、(イ) 所定の基板と、(ロ) この基板上に配置された光波の伝搬のための第 1 および第 2 のチャンネル導波路と、(ハ) 隣接する導波路の長さが所定の差で順次

長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、

(ニ) 第 1 のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第 1 の形状の導波路部分を介して接続する第 1 のスラブ導波路と、(ホ) 基板上に形成され第 2 のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの他端とを第 2 の形状の導波路部分を介して接続する第 2 のスラブ導波路とを具備し、(ヘ) 第 1 のスラブ導波路に対する第 1 のチャンネル導波路の開口部および第 2 のスラブ導波路に対する第 2 のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャンネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴としている。

【0072】すなわち請求項 13 記載の発明のアレイ導波路格子は、第 1 のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの一端とを第 1 の形状の導波路部分を介して接続する第 1 のスラブ導波路と、第 2 のチャンネル導波路の一端とチャンネル導波路アレイの他端とを第 2 の形状の導波路部分を介して接続する第 2 のスラブ導波路とを配置している。ここで第 1 のチャンネル導波路は、入力用チャンネル導波路であってもよいし、出力用チャンネル導波路であってもよい。同じ場所に存在する複数の導波路の一部が入力用で残りが出力用であってもよい。第 1 のチャンネル導波路が入力用チャンネル導波路のみで構成されている場合には、第 2 のチャンネル導波路は出力用チャンネル導波路となり、第 1 のチャンネル導波路が出力用チャンネル導波路のみで構成されている場合には、第 2 のチャンネル導波路は入力用チャンネル導波路となる。

【0073】この請求項 13 記載の発明では、第 1 のスラブ導波路に対する第 1 のチャンネル導波路の開口部および第 2 のスラブ導波路に対する第 2 のチャンネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャンネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分となっている。後に説明するようにこの場合にも指数関数状に広がった形状部分を有すると同様の特徴を有する。また、請求項 13 記載の発明の場合にも他の形状等の組み合わせについての各種のバリエーションが存在するが、指数関数状に広がった形状部分を有する場合と本質的に同様のバリエーションを採ることができるので、これらの例示は省略する。

【0074】請求項 14 の発明のアレイ導波路格子では、(イ) 光波の伝播のための第 1 のチャンネル導波路および第 2 のチャンネル導波路と、(ロ) 隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャンネル導波路アレイと、(ハ) 第 1 のチャンネル導波路とチャンネル導波路アレイの一方端との間に配置された第 1 のスラブ導波路と、(ニ) 第 2 のチャンネル導波路とチャンネル導波路アレイの他方端との間に配置された第 2 のスラブ導波路とを備え、(ホ) 第 1 のスラブ導波路に対する第 1 のチャンネル導波路の開口部、または第 2 のスラブ導波路に対する第 2 のチャンネル導波路の開口部の少なくとも

一方が、第1または第2のチャネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、(ヘ)開口部の根本部分から開口端に向けた形状が、開口幅の矩形形状よりも内側にあり、根本部分と開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であることを特徴としている。

【0075】すなわち請求項14記載の発明では、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部、または第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部、あるいはこれらの双方が、第1または第2のチャネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有しており、開口部の根本部分から開口端に向けた形状が、開口幅の矩形形状よりも内側にあり、根本部分と開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状となっている。

【0076】請求項15記載の発明では、請求項13記載のアレイ導波路格子で、二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域にはさまれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴としている。これについては後に図を用いて説明する。

【0077】請求項16記載の発明では、(イ)所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子と、

(ロ)このアレイ導波路格子の第1または第2のチャネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとをアレイ導波路格子モジュールに具備させる。

【0078】すなわち請求項16記載の発明では、請求項1記載の発明としてのアレイ導波路格子に光ファイバを組み合わせた形のアレイ導波路格子モジュールを扱っている。

【0079】請求項17記載の発明では、(イ)所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネ

ル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子と、(ロ)このアレイ導波路格子の第1または第2のチャネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとをアレイ導波路格子モジュールに具備させる。

【0080】すなわち請求項17記載の発明では、請求項2記載の発明としてのアレイ導波路格子に光ファイバを組み合わせた形のアレイ導波路格子モジュールを扱っている。

【0081】請求項18記載の発明では、(イ)光波の伝播のための第1のチャネル導波路および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイの一方端との間に配置された第1のスラブ導波路と、第2のチャネル導波路とチャネル導波路アレイの他方端との間に配置された第2のスラブ導波路とを備え、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部、または第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方が、第1または第2のチャネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、開口部の根本部分から開口端に向けた形状が、開口幅の矩形形状よりも内側にあり、根本部分と開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であるアレイ導波路格子と、

(ロ)このアレイ導波路格子の第1または第2のチャネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとをアレイ導波路格子モジュールに具備させる。

【0082】すなわち請求項18記載の発明では、請求項18記載の発明としてのアレイ導波路格子に光ファイバを組み合わせた形のアレイ導波路格子モジュールを扱っている。

【0083】請求項19記載の発明では、請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュールで、指数関数状に広がった形状 $W(X)$ は、光波の進行方向を X とし、スラブ導波路との接続箇所での終端幅を W_p 、光波の進行方向 X と直交する方向の導波路部分の広がりを W_c とし、指数関数の形状を与えるパラメータを a としたとき、

$$W(X) = (W_p - W_c) * (1 - \exp(-a * X)) + W_c$$

なる式で表わされることを特徴としている。

【0084】すなわち請求項19記載の発明では、請求項15または請求項16記載のアレイ導波路格子モジュールで適用される指数関数状に広がった形状 $W(X)$ を規定している。後に説明するように形状変数 a の値を選ぶことでアレイ導波路格子モジュールの光周波数特性を所望のものに定めることができる。

【0085】請求項20記載の発明では、請求項19記載のアレイ導波路格子モジュールで、指数関数の形状を与える形状変数 a は1以下であることを特徴としている。

【0086】すなわち請求項20記載の発明では、形状変数 a を1以下とすることにより指数関数の形状とした特徴をより鮮明なものにすることができる。これについては後に説明する。形状変数 a を1よりも大きな値とした場合にも程度の差はあれ本発明としての利点が生じるものであることは当然である。

【0087】請求項21記載の発明では、請求項19記載のアレイ導波路格子モジュールで、第1および第2の形状の導波路部分の双方は、チャネル導波路からチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ形状変数 a の値がそれぞれ相違していることを特徴としている。

【0088】すなわち請求項21記載の発明では、1つのアレイ導波路格子モジュールの第1または第2の形状の導波路部分に対して適用される前記した形状変数 a の値が相違するようなものであってもよいことを示している。一例は図14で説明した。

【0089】請求項22記載の発明では、請求項19記載のアレイ導波路格子モジュールで、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しており、かつ形状変数 a の値が対応するチャネル導波路に応じた値に個別に設定されていることを特徴としている。

【0090】すなわち請求項22記載の発明では、チャネル導波路からチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有する導波路部分が1つの扇形スラブ導波路に複数個接続されているときに、これらの導波路部分の前記した形状変数 a はそれぞれのチャネル導波路に対応させた適切な値に個別に設定される場合があることを示している。一例は図15で説明した。

【0091】請求項23記載の発明では、請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュールで、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーバ状となっていることを特徴としている。

【0092】すなわち請求項23記載の発明では、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状の一例としてテ

ーバ状を挙げている。これは先の図1あるいは図4に例示されている通りである。図4に示した例がテーバ状の特殊なものとして見做せることは前記した。

【0093】請求項24記載の発明では、請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュールで、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状は二次関数状となっていることを特徴としている。

【0094】すなわち請求項24記載の発明では、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状の一例として二次関数状を挙げている。一例は図17で説明した。

【0095】請求項25記載の発明では、請求項16または請求項17記載のアレイ導波路格子モジュールで、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状はテーバ状となっているものと指数関数状となっているものの双方からなるとなっていることを特徴としている。

【0096】すなわち請求項25記載の発明では、第1および第2の形状の導波路部分のうち指数関数状に広がった形状部分を有していない部分の形状の一例としてテーバ状となっているものと二次関数状となっているものの双方からなる例を挙げている。一例は図18で説明した。

【0097】請求項26記載の発明では、請求項17記載のアレイ導波路格子モジュールで、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーバ状の形状であることを特徴としている。

【0098】すなわち請求項26記載の発明では、図7で一般化して示したように第1のチャネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間に指数関数形状光導波路111とテーバ形状光導波路112がこの順序に接続されているような例を示している。指数関数形状光導波路111とテーバ形状光導波路112の数やこれらの配列の順序は自由である。一例は図19で説明した。

【0099】請求項27記載の発明では、請求項17記載のアレイ導波路格子モジュールで、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、二次関数状の形状であることを特徴としている。

【0100】すなわち請求項27記載の発明では、図8で一般化して示したように第1のチャネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105の間に二次関数形状光導波路113と指数関数形状光導波路111がこの順序に接続されているような例を示している。指数関数形状光導波路111と二次関数形状光導波路113の数やこれらの配列の順序は自由である。

【0101】請求項28記載の発明では、請求項17記載のアレイ導波路格子モジュールで、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む場合の他の形状は、テーバ状となっているものと二次関数状となっているものの双方

からなることを特徴としている。

【0102】すなわち請求項28記載の発明では、指数関数状に広がった形状部分を一部に含む光導波路は、他の形状がテーパ状のみではなく二次関数状も含まれている場合があることを示している。一例は図20で説明した。

【0103】請求項29記載の発明では、(イ) 所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子と、(ロ) このアレイ導波路格子の第1または第2のチャネル導波路の少なくとも一部にそれぞれ一端を光学的に接続した光ファイバとをアレイ導波路格子モジュールに具備させる。

【0104】すなわち請求項29記載の発明では、請求項13記載の発明としてのアレイ導波路格子に光ファイバを組み合わせた形のアレイ導波路格子モジュールを扱っている。

【0105】請求項30記載の発明では、請求項29記載のアレイ導波路格子モジュールで、二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域には含まれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴としている。

【0106】すなわち請求項30記載の発明では、請求項29記載のアレイ導波路格子モジュールで、二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域には含まれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴としている。

【0107】請求項31記載の発明の光通信システムでは、(イ) 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、(ロ) この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマル

チプレクサと、(ハ) このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、

(ニ) この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、(ホ) 光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、

(ヘ) このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、(ト) デマルチプレクサは、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子であることを特徴としている。

【0108】すなわち請求項31記載の発明では、各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備えた光通信システムにおけるデマルチプレクサを請求項1記載の発明におけるアレイ導波路格子で構成している。

【0109】請求項32記載の発明の光通信システムでは、(イ) 各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、(ロ) この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、(ハ) このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、(ニ) この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、(ホ) 光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、(ヘ) このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、(ト) デマルチプレクサは、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるよ

うに構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子であることを特徴としている。

【0110】すなわち請求項32記載の発明では、各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備えた光通信システムにおけるデマルチプレクサを請求項2記載の発明におけるアレイ導波路格子で構成している。

【0111】請求項33記載の発明の光通信システムでは、(イ)各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、(ロ)この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、(ハ)このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、(ニ)この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、(ホ)光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、(ヘ)このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、(ト)デマルチプレクサは、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関

数状に広がった形状部分を有しているアレイ導波路格子であることを特徴としている。

【0112】すなわち請求項33記載の発明では、各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備えた光通信システムにおけるデマルチプレクサを請求項13記載の発明におけるアレイ導波路格子で構成している。

【0113】請求項34記載の発明の光通信システムでは、(イ)各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、(ロ)この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、(ハ)このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、(ニ)この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、(ホ)光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、(ヘ)このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備え、(ト)デマルチプレクサは、光波の伝播のための第1のチャネル導波路および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイの一方端との間に配置された第1のスラブ導波路と、第2のチャネル導波路とチャネル導波路アレイの他方端との間に配置された第2のスラブ導波路とを備え、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部、または第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方が、第1または第2のチャネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、開口部の根本部分から開口端に向けた形状が、開口幅の矩形形状よりも内側にあり、根本部分と開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であるアレイ導波路格子であることを特徴としている。

【0114】すなわち請求項34記載の発明では、各波長の光信号をパラレルに送出する光送信手段と、この光送信手段の送出した各波長の光信号を波長分割多重化するアレイ導波路格子からなるマルチプレクサと、このマルチプレクサから出力される波長分割多重化された光信号を伝送する光伝送路と、この光伝送路の途中に適宜配置されたアレイ導波路格子を備えたノードと、光伝送路をノードを経由して送られてきた光信号を入力し各波長

の光信号に分離するアレイ導波路格子からなるデマルチプレクサと、このデマルチプレクサによって分離された各波長の光信号を受信する光受信手段とを備えた光通信システムにおけるデマルチプレクサを請求項14記載の発明におけるアレイ導波路格子で構成している。

【0115】請求項35記載の発明では、請求項33記載の光通信システムで、二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域には含まれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴としている。

【0116】すなわち請求項35記載の発明では、請求項33記載のアレイ導波路格子で、二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域には含まれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴としている。

【0117】請求項36記載の発明の光通信システムでは、(イ)複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、(ロ)第1のアレイ導波路格子は、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴としている。

【0118】すなわち請求項36記載の発明では、複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えた光通信システム

で、第1のアレイ導波路格子は請求項1記載のアレイ導波路格子となっている。

【0119】請求項37記載の発明の光通信システムでは、(イ)複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、(ロ)第1のアレイ導波路格子は、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴としている。

【0120】すなわち請求項37記載の発明では、複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えた光通信システムで、第1のアレイ導波路格子は請求項2記載のアレイ導波路格子となっている。

【0121】請求項38記載の発明の光通信システムでは、(イ)複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、(ロ)第1のアレイ導波路格子は、所定の基板と、この基板上に配置された光波の伝搬のための第1および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの一端とを第1の形状の導波路部分を介して接続する第1のスラブ導波路と、基板上に形成され第2のチャネル導波路の一端とチャネル導波路アレイの他端とを第2の形状の導波路部分を介して接続する第2のスラブ導波路とを具備し、第1のスラブ導波路に対する第

1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有していることを特徴としている。

【0122】すなわち請求項38記載の発明では、複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えた光通信システムで、第1のアレイ導波路格子は請求項13記載のアレイ導波路格子となっている。

【0123】請求項39記載の発明の光通信システムでは、(イ)複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えており、(ロ)第1のアレイ導波路格子は、光波の伝播のための第1のチャネル導波路および第2のチャネル導波路と、隣接する導波路の長さが所定の差で順次長くなるように構成されたチャネル導波路アレイと、第1のチャネル導波路とチャネル導波路アレイの一方端との間に配置された第1のスラブ導波路と、第2のチャネル導波路とチャネル導波路アレイの他方端との間に配置された第2のスラブ導波路とを備え、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部、または第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方が、第1または第2のチャネル導波路の導波路幅よりも広い開口幅の開口端を有し、開口部の根本部分から開口端に向けた形状が、開口幅の矩形形状よりも内側にあり、根本部分と開口端を結ぶ2次曲線よりも外側にある曲線形状であることを特徴としている。

【0124】すなわち請求項39記載の発明では、複数のノードを伝送路によって環状に接続し、これらの伝送路に波長分割多重化された光信号を送送する環状伝送路を有し、それぞれのノードが波長分割多重化された光信号を各波長の光信号に分離する第1のアレイ導波路格子と、各波長の光信号に分離された光信号を波長分割多重化する第2のアレイ導波路格子を備えた光通信システムで、第1のアレイ導波路格子は請求項14記載のアレイ導波路格子となっている。

【0125】請求項40記載の発明では、請求項38記載の光通信システムで、二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそ

れぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域には含まれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴としている。

【0126】すなわち請求項40記載の発明では、請求項38記載のアレイ導波路格子で、二次より次数の大きい関数で表わされる広がった形状部分は、周波数多重されたガウシアン波形のそれぞれの光波がその導波路を通過するとき、矩形状の導波路と二次関数で表わされた導波路をそれぞれ通過するときの透過幅およびクロストークについての特性の境界領域には含まれた領域内の特性となるような凸形状に設定されていることを特徴としている。

【0127】

【発明の実施の形態】

【0128】

【実施例】以下実施例につき本発明を詳細に説明する。

【0129】<第1の実施例>

【0130】図21は本発明の第1の実施例におけるアレイ導波路格子の構成を表わしたものである。このアレイ導波路格子100を構成する基板101上には1または複数の第1のチャネル導波路102と、複数の第2のチャネル導波路103と、異なった曲率でそれぞれ一定方向に曲がったチャネル導波路アレイ104と、第1のチャネル導波路102とチャネル導波路アレイ104を接続する第1の扇形スラブ導波路105と、チャネル導波路アレイ104と第2のチャネル導波路103を接続する第2の扇形スラブ導波路106とが配置されている。第1のチャネル導波路102から入射した波長 λ_1 、 λ_2 、…… λ_n の多重信号光は、第1の扇形スラブ導波路105によってその進路を広げられ、チャネル導波路アレイ104に入射する。

【0131】チャネル導波路アレイ104では、これを構成する各アレイ導波路の間に一定の光路長差が設けられており、光路長が順次長く、あるいは短くなるように設定されている。したがって、それぞれのアレイ導波路を導波する光には一定間隔ずつの位相差が付けられて第2の扇形スラブ導波路106に到達するようになっている。実際には波長分散があるので、波長によってその等位相面が傾く。この結果、波長によって第2の扇形スラブ導波路106と複数の導波路から成る第2のチャネル導波路103の界面上の異なった位置に光が結像(集光)する。波長に対応したそれぞれの位置に第2のチャネル導波路103が配置されているので、第2のチャネル導波路103からは任意の波長成分 λ_1 、 λ_2 、…… λ_n を個別に取り出すことが可能になる。

【0132】ここで本実施例のアレイ導波路格子100の具体的な構成を説明する。本実施例では基板101として半導体(シリコン)基板を使用している。もちろん、基板101は半導体に限るものではない。本実施例の基板101は下層クラッド層に、リン、ゲルマニウ

ム、チタン、ボロン、フッ素などを添加した石英系の材料を用い、火炎堆積法、常圧CVD (Chemical Vapor Deposition: 化学気相成長) 法、スパッタ法、スピニング法、電子ビーム蒸着法等の手法を使用して、数十 μm (ミクロンメートル) の厚さで堆積している。この上に、図21に示した光導波路形状のコア層を作製するようにしている。

【0133】コア層の作製にはフォトリソグラフィを使用し、微細領域を適切なマスク材に転写する。続いて反応性イオンエッチング (RIE: Reactive Ion Etching) 装置や反応性イオンビームエッチング (RIBE: Reactive Ion Beam Etching) 装置等のドライエッチング法によって不要領域を除去する。最後に、再び屈折率をコア層よりも低く設定した前記した石英材料を使用し、厚さ数十 μm の上層クラッド層を堆積する。

【0134】図22は、図21の境界部分108における第1のチャネル導波路102と第1の扇形スラブ導波路105のコアの形状を示したものである。ただし、ここでは図示の便宜上、図21に示した第1のチャネル導波路102は第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃の3つのチャネル導波路によって構成されているものとしている。第1～第3の第1のチャネル導波路102₁～102₃のそれぞれは、対応する指数関数形状をなした第1～第3の指数関数形状光導波路111₁～111₃を介して第1の扇形スラブ導波路105と接続されている。

【0135】図23は、図21の境界部分109における第2のチャネル導波路103と第2の扇形スラブ導波路106のコアの形状を示したものである。この図でも図示の便宜上、図21に示した第2のチャネル導波路103が第1～第3の第2のチャネル導波路103₁～1

$$W(X) = (W_p - W_c) * (1 - \exp(-a * X)) + W_c$$

..... (1)

【0139】指数関数形状光導波路111を通過する際にこのような界分布をもった光は、更に図21に示す第1の扇形スラブ導波路105に入射することで光軸と直交する方向に広がって進行することになる。そして、チャネル導波路アレイ104を構成する各導波路を励振して、第2の扇形スラブ導波路106においてそれぞれの光周波数 f に対応した第2のチャネル導波路103の位置に集光する。このようにして各第2のチャネル導波路103から任意の波長成分 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ の光が取り出されることになる。この際に、相反の定理によって、第2の扇形スラブ導波路106と第2のチャネル導波路103との境界部分109での光分布も、前者の境界部分108の場合と同様に平坦な電界分布となる。

【0140】一方、図23に示した第2のチャネル導波路103のコア開口幅 W は、前記した空間的に平坦な界分布の幅に比べて小さくなるように設計されている。この結果、図示しない光源の光周波数 f が多少変化して

03₃の3つのチャネル導波路によって構成されているものとしている。第1～第3の第2のチャネル導波路103₁～103₃のそれぞれは、対応するテーパ形状をなした第1～第3のテーパ形状光導波路112₁～112₃を介して第2の扇形スラブ導波路106と接続されている。

【0136】なお、図21に示す第1の扇形スラブ導波路105とチャネル導波路アレイ104の境界部分、ならびにチャネル導波路アレイ104と第2の扇形スラブ導波路106の境界部分のコアの形状は、図23に示したように共にテーパ形状となっている。ただし、これらの部分の形状は、光周波数特性に直接影響を与えるものではないので本発明の考察の対象外である。本発明では、第1の境界部分108と、第2の境界部分109における光周波数特性、すなわちチャネル導波路102、103と扇形スラブ導波路105、106の接続部分での光導波路の形状による光周波数特性を考察する。

【0137】ところで、図21に示した基板101の第1のチャネル導波路102に入射した光は、指数関数形状光導波路111を通過する際に基本モードから高次モードに変化する。これによりその電界分布はガウシアン分布から空間的に平坦な電界分布に変換する。その界分布の広がり h は、次の(1)式で表わされる光導波路幅 $W(X)$ で与えられる光導波路形状によって決定される。ここで、符号 X は、光波の進行方向である。また、符号 a は指数関数の形状を与える形状変数であり、符号 W_c はチャネル導波路のコア幅を表わしている。更に符号 W_p は、図22に示したように指数関数形状光導波路111が第1の扇形スラブ導波路105に接続する終端幅を表わしている。

【0138】

も、第2のチャネル導波路103へ結合する光の量はほぼ一定し、光源の光周波数 f が変化しても分波出力がほぼ一定となるような平坦な光周波数特性を得ることができ。

【0141】図24は、図22に示した指数関数形状光導波路の一つを拡大して示したものである。先の(1)式に表わされた各パラメータを図中に記している。この図24では光波の進行方向 X における指数関数形状光導波路111の長さ L_2 で示している。また、破線は幅 W_p と長さ L_2 で定まる矩形形状光導波路114を参考のために示している。

【0142】図25は、図22に示した指数関数形状光導波路の形状変数 a の値を0.01から増加させていったときのクロストーク、損失および透過幅の変化を表わしたものである。この特性図は、幅 W_p が18 μm で、導波路部分の広がり W_c が5.5 μm で、長さ L_2 が175 μm の場合を示している。透過幅は広いほどよく、

クロストークの絶対値は大きい程よいので、透過幅を示した特性曲線201とクロストークの絶対値を示した特性曲線202はこの図で上の位置にあるほどよい結果となる。なお、過剰損失は特性曲線203で表わしている。

【0143】すでに従来技術と共に説明したように透過幅とクロストークはトレードオフの関係にある。すなわち、特性曲線201で示した透過幅を大きくするためには矢印204で示すように形状変数 a の値を大きくする必要があり、特性曲線202で示したクロストークの絶対値を大きくするためには矢印205で示すように形状変数 a の値を小さくする必要がある。ところが両者の特性曲線は形状変数 a の値が“0.1”よりも大きくなるとわずかに変化するのみであり、“1”以上はほとんど変化しない。図では形状変数 a の値を“1”まで示しているのはそのためである。そこで形状変数 a の値は“1”以下に限定して考察しても実際上はほとんど支障がない。

【0144】図26は、(1)式における形状変数 a を変えたときの図24に示した指数関数形状光導波路の形状の変化を示したものである。ここでは形状変数 a は前に述べた理由から“1”以下の場合を取り上げている。形状変数 a を“1”から“0.02”まで変化させると、形状変数 a が“1”の場合には矩形形状光導波路114に近い結果を得ることができ、図25で示したように透過幅を最も大きくすることができる。これに対して、形状変数 a を小さくしていくと、クロストークの絶対値が大きくなる。そして形状変数 a が“0”に近づくほど二次関数形状光導波路113(図3等参照)にその特性が近づく。

【0145】この図26から指数関数形状光導波路111は二次関数形状光導波路113よりも矩形形状光導波路114に特性的に近い分だけ優れた特性を得ることができることが分かり、かつ形状変数 a の値を各種変更することができるので、特性選択の自由度が高いことが分かる。

【0146】図27は、本発明で使用する指数関数形状光導波路と従来の二次関数形状光導波路の特性の違いを概念的に示したものである。この図で縦軸は透過幅を示しており、横軸はクロストークの絶対値を示している。共に値が大きくなるほど良好な状態となり、原点“0”に近づくほど悪い状態となる。直線116は指数関数形状光導波路の一例を示したものであり、一点鎖線117は二次関数形状光導波路の一例を示したものである。それぞれ変数のとる値によって、特性が変動するので、これらはそれぞれ破線118、119で示す幅の領域内として特定されることになる。指数関数形状光導波路は形状変数 a が無限大となると矩形に無限に近づき、“0”になるとリニアなテーパ形状となる。また、変数のとる値によって指数関数形状光導波路は二次関数形状光導波

路と接触する。ただし、この図27からも明らかなように、両者の接触する部分以外で指数関数形状光導波路が透過幅とクロストークの絶対値の双方で二次関数形状光導波路に特性上で常に勝ることになる。

【0147】図28は、本実施例の指数関数形状光導波路を使用したアレイ導波路格子と従来の二次関数形状光導波路を使用したアレイ導波路格子についてスペクトル形状と透過特性を比較したものである。この図で実線211はたとえば図1に示した指数関数形状光導波路111による測定結果であり、破線212はたとえば図3に示した二次関数形状光導波路113による測定結果である。幅 W_p 等の各値は図25に示したものと同一である。

【0148】この図より、破線212で示した二次関数形状光導波路113の方が波形が急峻であり、実線211で示した指数関数形状光導波路111よりも透過幅が狭いことが明確である。また、本実施例では信号光の隣接チャンネルが横軸の“0.8”近傍に存在することになるが、この場所で二次関数形状光導波路113よりも指数関数形状光導波路111の方がクロストークが低くなっている。したがって、指数関数形状光導波路111の方が隣接するチャンネルの信号光の影響も少なくなっている。このように二次関数形状光導波路113よりも指数関数形状光導波路111の方が透過幅もクロストークも改善していることが分かる。

【0149】<第2の実施例>

【0150】図29は、本発明の第2の実施例として以上説明した第1の実施例におけるアレイ導波路格子を使用したアレイ導波路格子モジュールの構造の概要を表わしたものである。アレイ導波路格子モジュール301は、箱状のケース302とその底部に配置されたペルチェ素子からなる発熱あるいは冷却を行う温度制御素子303と、アレイ導波路格子100とこれらの間に介在する金属板305から構成されている。本実施例では金属板305として熱伝導性の良い銅板を使用している。金属板305は温度制御素子303の温度制御領域を拡大するために温度制御素子303の接触サイズよりも大きなものが使用されている。

【0151】金属板305には溝が切られており、その中に温度センサ306が熱伝導性の高い材料307と共に埋め込まれている。この温度検出出力は、温度制御回路308に入力されて温度制御素子303の温度制御が行われるようになっている。位置309は金属板305の中に埋め込まれた温度センサ306が引き出される場所である。この例で温度センサ306はサーミスタが使用されている。

【0152】アレイ導波路格子100の図21に示した第1のチャンネル導波路102の側および第2のチャンネル導波路103の側からは光ファイバ311、312がケース302の外部に引き出されている。このうちの光フ

ファイバ311は第1のチャネル導波路102にその一端を接続されており、他端を図示しない光源側に接続されるようになっている。また、光ファイバ312はその一端を第2のチャネル導波路103に接続しており、他端を分波後の光信号を処理する図示しない回路部分に接続されるようになっている。

【0153】図30は、温度センサを埋め込んだ状態の金属板を示したものである。金属板305に破線で示した四角の温度検出領域321は図21に示したアレイ導波路格子100におけるチャネル導波路アレイ104、第1の扇形スラブ導波路105および第2の扇形スラブ導波路106を含んだ領域と接触するものである。この領域321の温度を高精度に検出し所定の温度に制御することで、アレイ導波路格子100の温度変動による特性の変化を防止することができる。

【0154】温度検出領域321のほぼ中央の位置から、角張った渦巻き状の軌跡を描くように金属板305の表面に溝322が切られており、その中に温度センサ306が熱伝導性の高い材料307と共に埋め込まれている。温度センサ306の先端に位置する温度検出部323は、温度検出領域321のほぼ中央の位置に埋め込まれており、この位置から一対のリード線325、326が渦巻き状に金属板305の中を通過して位置309から外部に引き出されている。なお、一対のリード線325、326としては比較的細い線が使用されている。

【0155】本実施例のアレイ導波路格子モジュール301では、温度センサ306の温度検出部323が金属板305内に埋め込まれ、かつアレイ導波路格子100によって溝322を塞がれている。また、温度検出部323に熱帰還を行う恐れのある一対のリード線325、326は、図30に示したように金属板305内に熱伝導性の高い材料307と共に埋め込まれている。しかもリード線325、326は金属板305内を温度検出部323の位置から最短距離で直線状に引き出されているのではなく、曲線状の一形態として渦巻き状に距離を稼いで引き出されている。

【0156】したがって、位置309からリード線325、326によって周囲温度が温度検出部323に熱帰還しようとしても、この温度変化分の熱エネルギーは金属板305内部の比較的長い距離のリード線325、326から金属板305自体に吸収されてしまう。すなわち、金属板305自体は温度制御素子303によって所定の温度に制御されているので、位置309の部分からの周囲温度の影響は、金属板305の他の周囲部分における周囲温度の影響と同様に金属板305内部に行くに従って弱められる。したがって、特に金属板305内部の中心近傍に位置する温度検出領域321ではリード線325、326もその部分の金属の温度とほとんど同一となり、周囲温度が温度検出部323に熱帰還しないとみなすことができる。

【0157】したがって、アレイ導波路格子モジュール301では温度検出部323が温度検出領域321に対応する部分のアレイ導波路格子100の温度を周囲温度に影響されることなく正確に測定することができ、環境温度が変動しても常に安定した温度制御を実現することができる。

【0158】＜第3の実施例＞

【0159】図31は、本発明の第3の実施例における光通信システムの構成の概要を表わしたものである。この光通信システムで、送信側に配置された図示しないS O N E T (Synchronous Optical Network) 装置に接続された光送信機401から送り出された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号は光マルチプレクサ(MUX)402で多重された後、ブースタアンプ403で増幅されて光伝送路404に送り出される。多重化された光信号405はインラインアンプ406で適宜増幅された後、プリアンプ407を経て光デマルチプレクサ(DMU X)408で元の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ に分離され、光受信機409で受信されるが、その途中の光伝送路404に適宜の数のノード(OADM)411₁~411_Nが配置されている。これらのノード411₁~411_Nでは、所望の波長の光信号が入出力されることになる。光デマルチプレクサ408は、図21に示したようなアレイ導波路格子100で構成されている。

【0160】図32は、ノードの構成の概要を示したものである。ここでは第1のノード411₁(図31参照)を示しているが、第2~第Mのノード411₂~411_Mも原理的には同一の構成となっている。図31に示した光伝送路404は、第1のノード411₁の入力側アレイ導波路格子421に入力されて波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号に分波され、各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ ごとに設けられた2入力2出力の光スイッチ422₁~422_Nによって、それぞれの波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ の光信号をノード側受信部426に取り込む(drop)と共に、ノード側送信部424から送信した光信号を挿入する(Add)。2入力2出力の光スイッチ422₁~422_Nの出力側はそれぞれに対応して設けられたアッテネータ(AT T.)427₁~427_Nによってゲインを調整された後に出力側アレイ導波路格子428に入力されるようになっている。出力側アレイ導波路格子428は入力側アレイ導波路格子421と逆の構成の素子であり、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のNチャネル分の光信号を多重して光伝送路404に光信号405として送り出すことになる。

【0161】このように図32に示した第1のノード411₁を始めとして、図31に示した第2~第Mのノード411₂~411_Mおよび光デマルチプレクサ408は共に図21に示したアレイ導波路格子100を使用している。そして、その入力側の導波路からモニタ光が入力されたときの出力側の導波路(モニタ用導波路)から出力される前記した波長 λ_0 の光を逐次監視することで波

長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光が出力される他の出力側の導波路の波長補正を行うようになっている。このために図31に示すように各ノード411 $_1 \sim 411_n$ および光受信機409には、これらに対応してそれぞれ出力監視制御装置431 $_1 \sim 431_n$ および431 $_R$ が取り付けられている。

【0162】なお、アレイ導波路格子100はマルチプレクサとして使用する場合であっても本来の出力側の導波路からモニタ光を入力して本来の入力側の導波路から(モニタ用導波路)から出力される前記した波長 λ_n の光を逐次監視することで同様に波長補正を行うことができる。したがって、本実施例では図示していないが、光送信機401および各ノード411 $_1 \sim 411_n$ における出力側アレイ導波路格子428側のアレイ導波路格子101の補正も同様に可能であり、このための出力監視制御装置が設けられてもよい。

【0163】以上説明した実施例では、指数関数形状を一部に含む光導波路を使用するものとして説明したが、指数関数は三次等の高次の関数で展開されるものである。この意味で、たとえば三次あるいは四次といった二次以外の高次の関数で表わされる形状あるいはこれを含む形状の導波路をチャネル導波路とスラブ導波路の接続箇所配置する場合も本発明に適用されることは当然である。

【0164】

【発明の効果】以上説明したように請求項1、請求項3～請求項12、請求項16、請求項19～請求項28、請求項31および請求項36記載の発明によれば、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有するものにしたので、二次関数形状光導波路形状のみとする場合よりも信号光の光周波数特性を向上させることができるだけでなく、矩形あるいはテーパ形状光導波路のみで構成する場合と比べて設計の自由度を大きくすることができ、各種の要求に柔軟に対応させることができる。

【0165】また、請求項2、請求項3～請求項13、請求項17、請求項20～請求項28、請求項32および請求項37記載の発明によれば、第1のスラブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方の少なくとも一部はチャネル導波路アレイの方向に指数関数状に広がった形状部分を有するものにしたので、二次関数形状光導波路形状のみとする場合よりも信号光の光周波数特性を向上させることができるだけでなく、矩形あるいはテーパ形状光導波路のみで構成する場合と比べて設計の自由度を大きくすることができ、各種の要求に柔軟に対応させることができる。

【0166】更に請求項15、請求項29、請求項33および請求項40記載の発明によれば、前記第1のスラ

ブ導波路に対する第1のチャネル導波路の開口部および第2のスラブ導波路に対する第2のチャネル導波路の開口部の少なくとも一方はチャネル導波路アレイの方向に二次より次数の大きい関数で表わされる指数関数状に広がった形状部分を有するものにしたので、二次関数形状光導波路形状のみとする場合よりも信号光の光周波数特性を向上させることができるだけでなく、矩形あるいはテーパ形状光導波路のみで構成する場合と比べて設計の自由度を大きくすることができ、各種の要求に柔軟に対応させることができる。

【0167】また、請求項14、請求項18、請求項34および請求項31～請求項40記載の発明によれば、従来の二次関数形状光導波路形状のみを使用した場合と比べて信号光の透過幅をより広くすることができる。したがって、アレイ導波路格子を多段に接続した場合には信号の透過する帯域の減少率が少なくなるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1記載の発明に該当する第1の例を示したアレイ導波路格子の説明図である。

【図2】請求項1記載の発明に該当する第2の例を示したアレイ導波路格子の説明図である。

【図3】請求項1記載の発明に該当する第3の例を示したアレイ導波路格子の説明図である。

【図4】請求項1記載の発明に該当する第4の例を示したアレイ導波路格子の説明図である。

【図5】指数関数形状光導波路が請求項1記載の発明と同様に接続された状態を示した光導波路の説明図である。

【図6】請求項2記載の発明に該当する第1の例を示した光導波路の説明図である。

【図7】請求項2記載の発明に該当する第2の例を示した光導波路の説明図である。

【図8】請求項2記載の発明に該当する第3の例を示した光導波路の説明図である。

【図9】請求項2記載の発明に該当する第4の例を示した光導波路の説明図である。

【図10】請求項2記載の発明に該当する第5の例を示した光導波路の説明図である。

【図11】請求項2記載の発明に該当する第6の例を示した光導波路の説明図である。

【図12】請求項2記載の発明に該当する第7の例を示した光導波路の説明図である。

【図13】請求項2記載の発明に該当する第8の例を示した光導波路の説明図である。

【図14】請求項5記載の発明に該当するものとして各境界部分で使用される指数関数形状光導波路の形状変数 a が相違する例を示したアレイ導波路格子の説明図である。

【図15】請求項6記載の発明に該当するものの例を示

したアレイ導波路格子内の境界部分の説明図である。

【図16】請求項7記載の発明に該当するものの例を示したアレイ導波路格子内の境界部分の説明図である。

【図17】請求項8記載の発明に該当するものの例を示したアレイ導波路格子内の境界部分の説明図である。

【図18】請求項9記載の発明に該当するものの例を示したアレイ導波路格子内の境界部分の説明図である。

【図19】請求項10記載の発明に該当するものの例を示したアレイ導波路格子内の境界部分の説明図である。

【図20】請求項15記載の発明に該当するものの例を示したアレイ導波路格子内の境界部分の説明図である。

【図21】本発明の一実施例におけるアレイ導波路格子の構成を表わした平面図である。

【図22】図21における第1のチャネル導波路と第1の扇形スラブ導波路の境界部分のコアの形状を示した平面図である。

【図23】図21における第2のチャネル導波路と第2の扇形スラブ導波路の境界部分のコアの形状を示した平面図である。

【図24】本実施例の指数関数形状光導波路の拡大図である。

【図25】本実施例で形状変数 a を変えたときの指数関数形状光導波路の形状の変化を示した特性図である。

【図26】本実施例で形状変数 a を変えたときの図24に示した指数関数形状光導波路の形状の変化を示した特性図である。

【図27】本発明で使用する指数関数形状光導波路と従来の二次関数形状光導波路の特性の違いを概念的に示した説明図である。

【図28】本実施例の指数関数形状光導波路を使用したアレイ導波路格子と従来の二次関数形状光導波路を使用したアレイ導波路格子についてスペクトル形状と透過特性を比較した説明図である。

【図29】本発明の第2の実施例におけるアレイ導波路格子モジュールの構造の概要を表わした断面図である。

【図30】第2の実施例における温度センサを埋め込んだ状態の金属板を示した平面図である。

【図31】本発明の第3の実施例における光通信システムの構成の概要を表わしたシステム構成図である。

【図32】第3の実施例におけるノードの構成の概要を示したブロック図である。

【図33】従来のアレイ導波路格子の一例を示した概略構成図である。

【図34】図33に示したアレイ導波路格子の第1のチャネル導波路と第1の扇形スラブ導波路の境界部分に矩形形状の光導波路を使用した場合の拡大図である。

【図35】図33に示したアレイ導波路格子の第1のチャネル導波路と第1の扇形スラブ導波路の境界部分に二次関数状の形状の光導波路を使用した場合の拡大図である。

【図36】波長多重された信号光の理想的な特性を表わした波形図である。

【図37】矩形形状の光導波路をスラブ導波路に接続したアレイ導波路格子についての提案の概要を示した概略構成図である。

【図38】多重された信号光がチャネル導波路から矩形形状の光導波路を経て拡散した後に波長ごとに分離して取り出される様子を表わした説明図である。

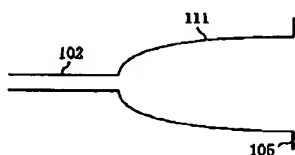
【図39】従来における波長多重された信号光の光周波数特性の一例を示した特性図である。

【図40】隣接する2つのチャネルの信号光の透過幅とクロストークの関係を示した説明図である。

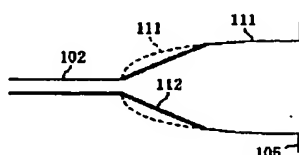
【符号の説明】

- 100 アレイ導波路格子
- 101 基板
- 102 第1のチャネル導波路
- 103 第2のチャネル導波路
- 104 チャネル導波路アレイ
- 105 第1の扇形スラブ導波路
- 106 第2の扇形スラブ導波路
- 108 第1の境界部分
- 109 第2の境界部分
- 111 指数関数形状光導波路
- 112 テーバ形状光導波路
- 113 二次関数形状光導波路
- 301 アレイ導波路格子モジュール
- 311、312 光ファイバ
- 401 光送信機
- 402 光マルチプレクサ
- 408 光デマルチプレクサ
- 409 光受信機
- 411 ノード

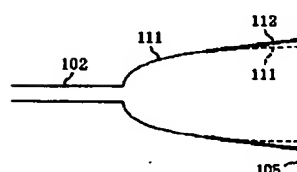
【図5】



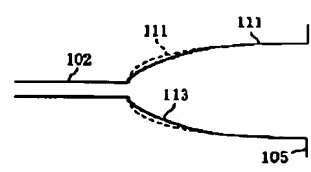
【図6】



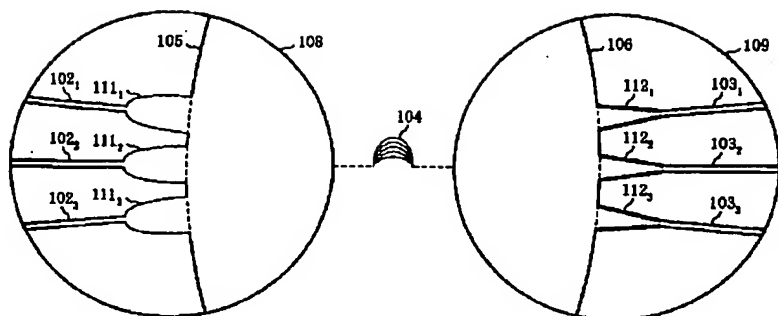
【図7】



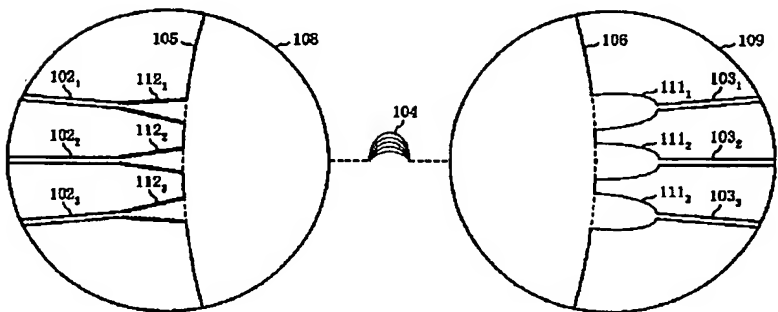
【図8】



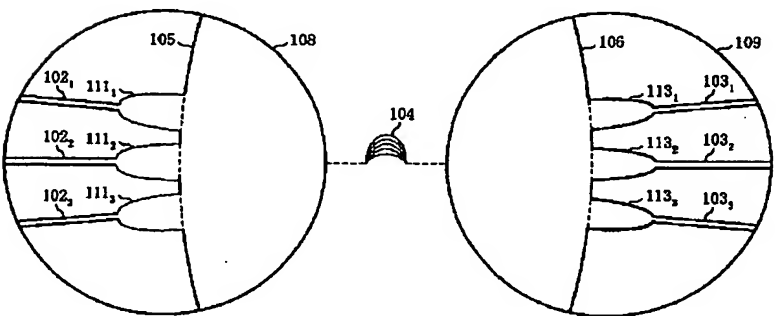
【图1】



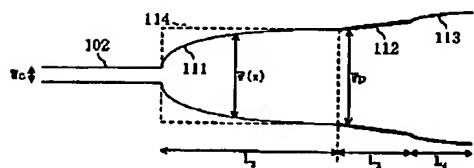
【图2】



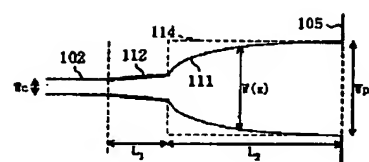
【图3】



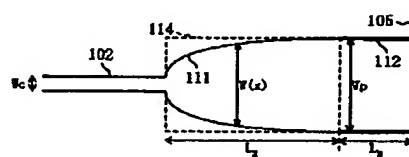
【图13】



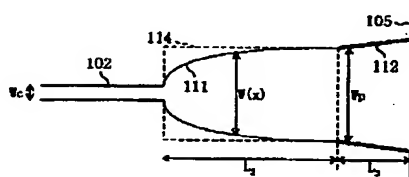
【图9】



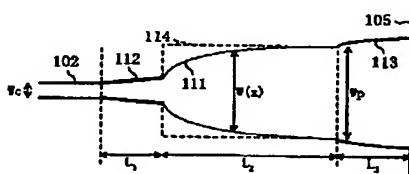
【图10】



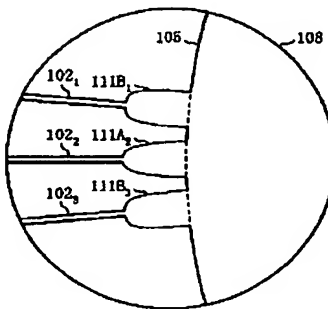
【图11】



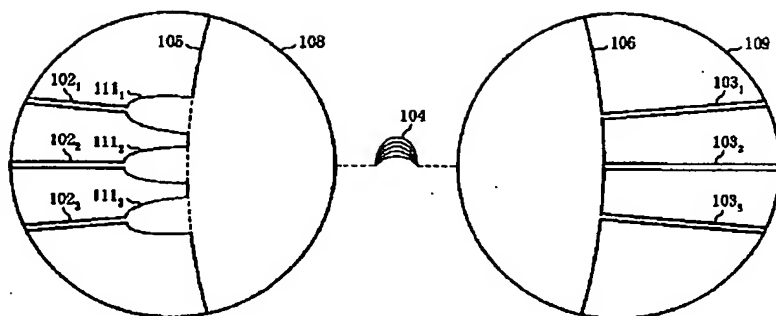
【图12】



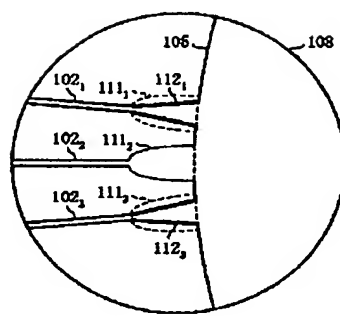
【图15】



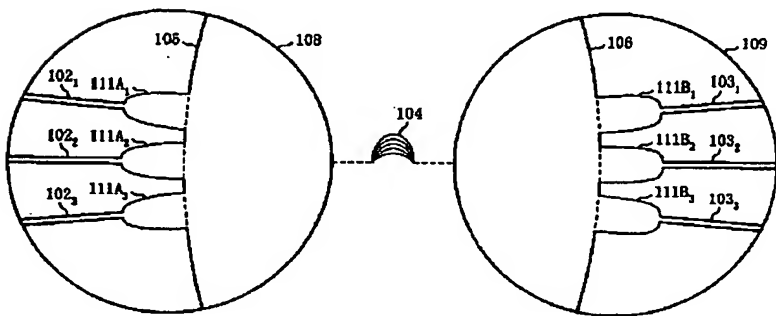
【图4】



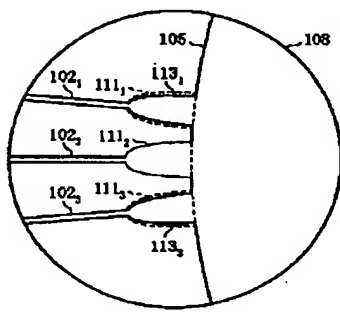
【图16】



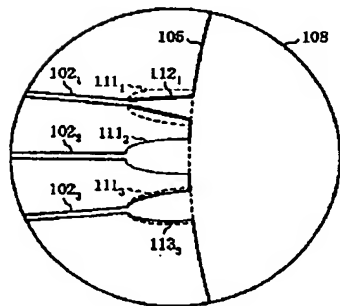
【图14】



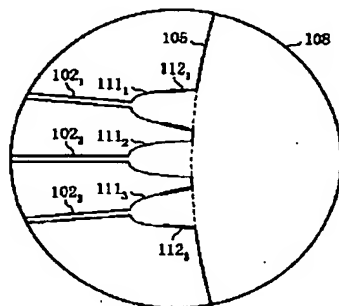
【图17】



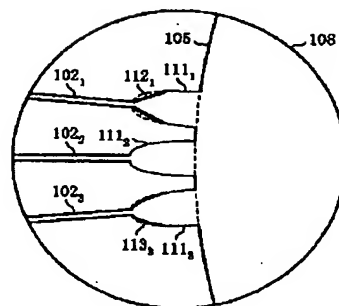
【图18】



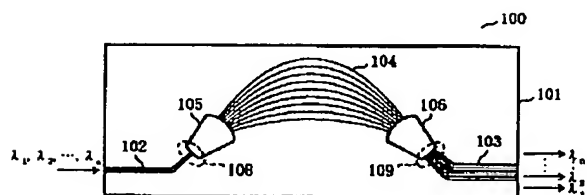
【图19】



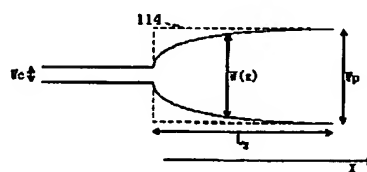
【图20】



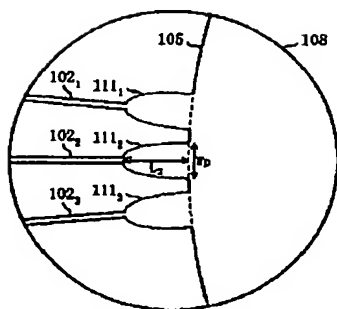
【图21】



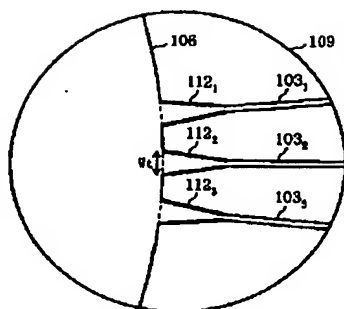
【图24】



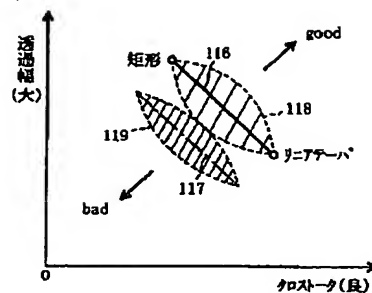
【図22】



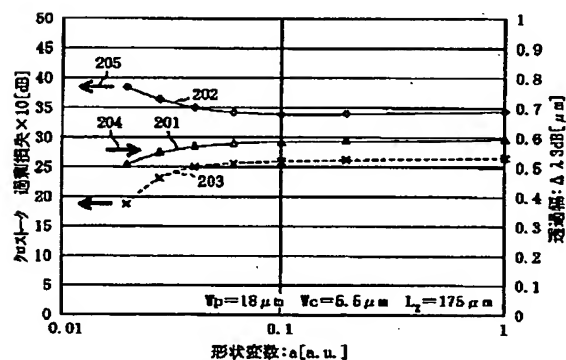
【図23】



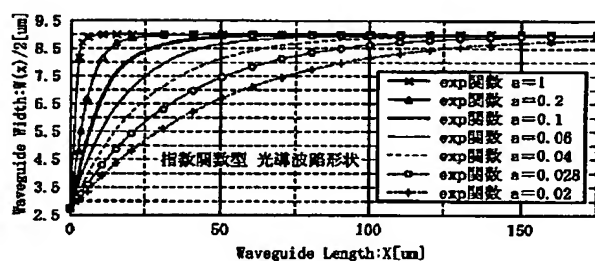
【図27】



【図25】

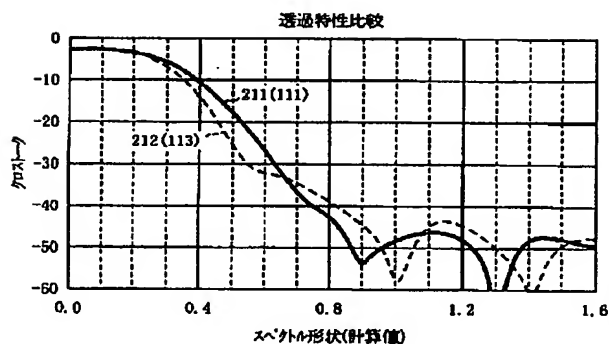


【図26】

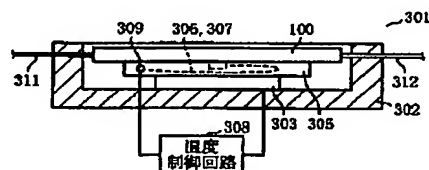


【図29】

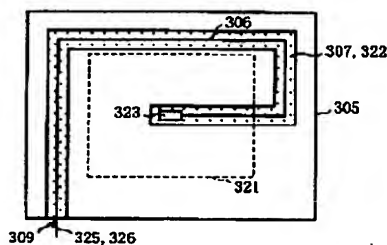
【図28】



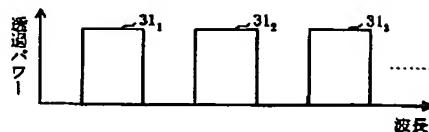
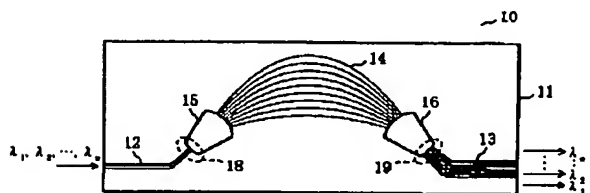
【図33】



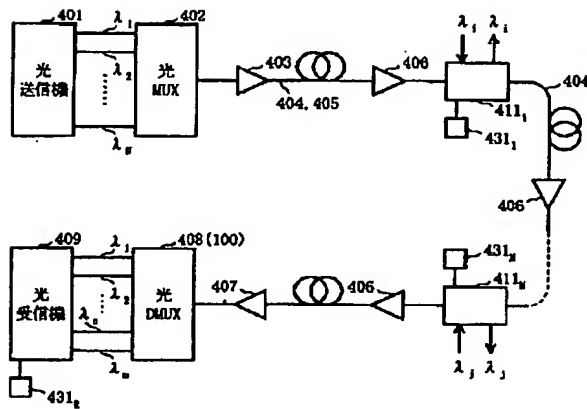
【図30】



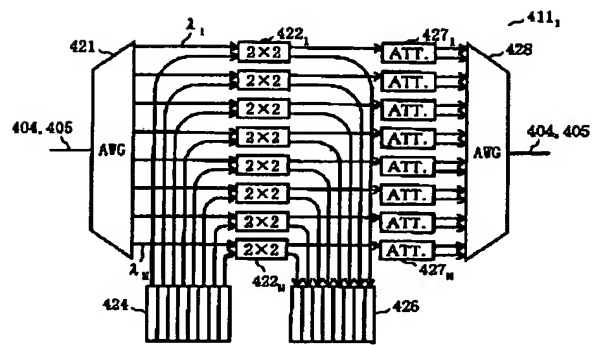
【図36】



【図31】

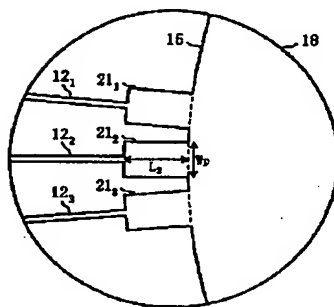


【図32】

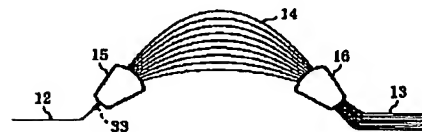
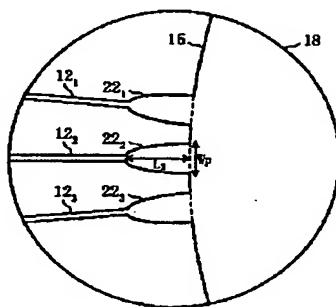


【図37】

【図34】

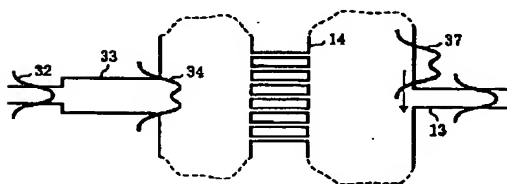


【図35】



【図38】

【図39】



【図40】

